

“十二五”国家重点图书
船舶与海洋出版工程·航母与潜艇系列



潜艇隐身关键技术 ——声学覆盖层的设计

朱蓓丽 黄修长 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书

船舶与海洋出版工程·航母与潜艇系列

总主编 潘镜芙

潜艇隐身关键技术

——常学覆盖层的设计
藏书章

朱蓓丽 黄修长 编著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了水下声学覆盖层的理论研究和实验研究成果。

全书共分两大部分。理论研究部分介绍了水下声学覆盖层的一维和二维解析法数理模型和有限元法数值计算模型,分析了覆盖层声学性能、介绍了计算方法,并归纳出主要声学机理;实验研究部分介绍了以双水听器传递函数法为基础的水声声管吸声隔声测试方法、背衬问题和黏弹性材料动态弹性模量的声管测试技术。书内所有的声学覆盖层吸声性能预报值均通过了声管实验验证,因此可用于实际声学覆盖层的分析和设计,具有实用价值。

本书可供从事水声工程专业,特别是从事舰船噪声与振动控制技术的技术人员、相关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

潜艇隐身关键技术/朱蓓丽,黄修长编著. —上海:上海
交通大学出版社, 2012

(船舶与海洋出版工程. 航母与潜艇系列)

ISBN 978-7-313-09367-7

I. ①潜… II. ①朱…②黄… III. ①潜艇—隐身技术—研究
IV. ①U674.76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 305834 号

潜艇隐身关键技术

——声学覆盖层的设计

朱蓓丽 黄修长 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

浙江云广印业有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 12.25 字数: 213 千字

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-09367-7/U 定价: 38.00 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话: 0573-86577317

前 言

20多年前,我参加了水下声学覆盖层研制的课题组。水下声学覆盖层首先是声学元件,因而在声学方面要解决的两个问题,一个是吸声机理和声学结构设计,一个是测试方法。当时课题组制订了“理论研究、材料研究、实验研究三结合”的技术路线,在条件极为艰苦的情况下,得到了各兄弟单位的密切配合,声学研究取得了积极的进展。本书是这几十年在声学方面研究工作的总结,也是团队研究成果的阶段性展示,其中有很多内容是第一次公开发表。

当我开始执笔编写时,往事历历在目,感慨万千。当初我推导特征方程解的时候遇到了困难,是水声界前辈王鸿章教授帮我推出了公式;勾厚渝教授帮助建立起声管测试系统并开展了声学结构的设计研究工作;汤渭霖教授及其学生,范军教授及其学生以及我的一届又一届的学生们共同开展了声学覆盖层的理论研究和实验研究。没有大家的帮助就无法撰成此书。在此,我要感谢所有参加过有关研究工作的老师、研究生以及为研究工作提供过帮助的专家和同行。还要感谢上海交通大学的机械系统与振动国家重点实验室(原振动、冲击、噪声国家重点实验室)、舰船设备噪声与振动控制技术国防重点学科实验室、水声工程研究所和振动、冲击、噪声研究所几十年来对本研究始终不渝的支持和帮助。

本书研究的内容是实践性非常强的技术问题,研究的目的是要解决实际问题,所以整个研究过程始终贯彻课题组的“三结合”原则,此精神也始终贯穿于本书的撰写之中。本书内容注重实验研究,所有的声学覆盖层吸声性能理论预报值均经过声管实验的验证。但是实际问题往往是复杂多变的,我们的工作仅仅是打下了一个比较坚实的基础,研究工作还将继续进行。长江后浪推前浪,希望在不久的将来会有更新的研究成果公诸于众。

本书所涉及的内容为当下声隐身技术中的研究热点之一,缺乏系统的参考资料,部分观点还有待于进一步完善和提高。因此恳请读者批评斧正,本人将不胜感激。

朱蓓丽

2012年12月

目 录

| | |
|-----------------------------|-----|
| 绪论 | 001 |
| 0.1 安静——控制潜艇的辐射噪声和自噪声 | 002 |
| 0.2 声隐身——降低潜艇的目标强度 | 006 |
| 0.3 声学覆盖层技术 | 008 |
| 0.4 本书研究内容 | 015 |

理论研究篇

| | |
|---|-----|
| 第 1 章 水声常用的吸声材料与吸声结构 | 021 |
| 1.1 基本声学参数 | 021 |
| 1.2 均匀黏弹性介质中传播的波 | 026 |
| 1.3 水声吸声材料 | 030 |
| 1.4 水声吸声结构 | 030 |
| 1.5 当前常用的两大类吸声覆盖层结构 | 037 |
| 第 2 章 带圆柱空腔吸声覆盖层的解析法数理模型 | 040 |
| 2.1 一维数理模型——黏弹性分层渐变等效柱腔声传播模型 | 040 |
| 2.2 二维数理模型——基于 Kelvin - Voigt 线性黏弹性模型 | 059 |
| 第 3 章 带圆柱空腔吸声覆盖层的有限元数值计算模型 | 072 |
| 3.1 Alberich 吸声覆盖层的有限元数值计算模型 | 072 |
| 3.2 水中周期分布空腔结构体的有限元计算基本理论 | 075 |
| 3.3 有限元方法编程实现与验证 | 091 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| 3.4 吸声覆盖层吸声性能有限元法计算结果的实验验证 | 094 |
| 第4章 声学覆盖层声学机理概述 | 095 |
| 4.1 吸声覆盖层的主要吸声机理 | 095 |
| 4.2 声学覆盖层隔声机理初探 | 103 |
| 实验研究篇 | |
| 第5章 水声声管测试技术 | 113 |
| 5.1 吸声性能的声管测试技术 | 113 |
| 5.2 隔声性能的声管测试技术 | 123 |
| 第6章 吸声性能测试中的背衬问题 | 134 |
| 6.1 声管测试中的常用背衬 | 134 |
| 6.2 不同背衬对复合渐变结构表观吸声系数的影响 | 139 |
| 6.3 水下目标壳体对复合渐变结构表观吸声系数的影响 | 143 |
| 6.4 小结 | 146 |
| 第7章 黏弹性材料动态弹性模量的声管测试技术 | 148 |
| 7.1 目前常用的弹性模量测量方法 | 148 |
| 7.2 常压下材料动态弹性模量的声管测量方法 | 155 |
| 7.3 静水压下材料动态弹性模量的声管测量方法 | 170 |
| 7.4 小结 | 176 |
| 附录 单位转换表 | 177 |
| 符号表 | 179 |
| 参考文献 | 183 |
| 索引 | 186 |

绪 论

潜艇由于其机动性和隐蔽性,在二次大战中曾发挥了重大作用。二次大战结束后,由于核潜艇的出现,使潜艇水下舰速提高到 30 节以上,续航力提高到数十万海里,下潜深度达 300 米以上,成为机动的核威慑力量。即使是常规动力潜艇,采用了不依赖于空气的推进系统(AIP),水下续航能力也可以达到上千海里。

从当代军事技术发展趋势看,虽然舰艇排水量的大小、航速高低、火力强弱等仍是衡量舰艇战斗性能的主要指标,然而,舰艇的隐蔽性,特别是潜艇在水下的隐蔽性已成为潜艇最重要的性能之一,因为它对潜艇的战技性能有着直接的、重要的影响。

由于海水对电磁波的强烈吸收效应,现有的雷达、红外、激光等空中侦察手段均无法用于发现隐藏在 100 米以下海洋深度的潜艇。声呐是唯一可以有效用于海水内部远程探测的手段。声呐分为被动声呐和主动声呐两种。前者靠接收敌方潜艇的辐射噪声来探测,后者由探测设备主动地发射声波,通过接收从敌方反射回的声脉冲来探测。因此潜艇的隐蔽性就主要归结为声隐身。

潜艇声隐身是为了躲避声呐探测和水中兵器的攻击。随着现代声呐的日趋完善,性能优良的先进探测声呐投入使用并不断更新,潜艇的暴露率大幅提高;同时,水中武器(导弹、鱼雷、水雷)向高精度、远距离发展,潜艇的被命中率也大幅提高,使潜艇的生存力和战斗力受到严重威胁。潜艇声隐身就是通过系统地应用多种技术来控制潜艇声场,改变潜艇声目标特性,并通过水声对抗等来降低对方声呐探测设备的发现概率和距离,降低对方自导水中兵器的攻击力,同时提高本艇对目标的发现、跟踪和打击力,达到“保存自己”、“克敌制胜”的目的。由此可见,声隐身技术是提高潜艇生存力和战斗力的有效手段。

潜艇声场特性主要包括三个方面:辐射噪声特性、自噪声特性和目标强度特性。这三方面的特性与潜艇的声隐身密切相关。对敌方被动声呐而言,希望本艇

的辐射噪声越小越好,使敌方被动声呐不易测到,而自噪声的降低有利于提高本艇声呐的作用距离,这就是潜艇的安静性能好;对敌方主动声呐而言,希望本艇的反射特性或目标强度越低越好,这就是潜艇的隐身性能好。

目前提高潜艇声隐身性能的技术有多种,如潜艇低噪声推进器技术(低噪声螺旋桨、泵喷推进器等)、浮阀技术、AIP 技术、声学覆盖层技术等,其中只有声学覆盖层技术是唯一既能降低潜艇目标强度又能抑制其辐射噪声,还可用于声呐平台区降低自噪声的一项综合技术。

0.1 安静——控制潜艇的辐射噪声和自噪声

潜艇噪声指标主要是指潜艇辐射噪声级和潜艇声呐基阵平台处的自噪声级,这两项指标一般列在战术技术任务书和型号研制任务书中。

1) 潜艇的辐射噪声和自噪声

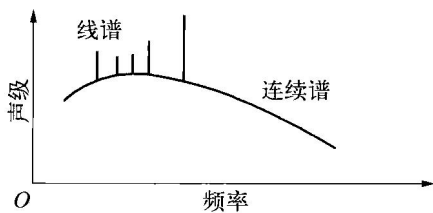
潜艇辐射噪声指的是潜艇辐射到水中的噪声;潜艇自噪声指的是由潜艇航行产生的、被安装在艇体上的水听器所接受到的噪声。

潜艇的辐射噪声是一种连续的宽带噪声,噪声谱具有如图 0-1 所示的一般特征。在几百赫兹以下的低频段有离散的线谱,这些线谱来自艇内机械振动的周期性分量和螺旋桨的周期性旋转,因此线谱的频率可以与激励频率对应起来,从而估算出潜艇的运行参数。几百赫兹以上的高频段是连续谱,由螺旋桨噪声和水动力噪声起主要作用,通常以每倍频程 5~7 dB 的速率衰减。

图 0-1 舰艇辐射噪声谱的一般特性

潜艇主要噪声源有机械噪声源、螺旋桨噪声源、水动力噪声源等。在不同的航态航速下各主要噪声源对潜艇总噪声的贡献也不一样。图 0-2 给出潜艇各航速下的噪声源分布。

潜艇的自噪声连同海洋自然噪声一起构成了声呐系统的独立干扰背景。虽然舰艇的辐射噪声和自噪声的噪声来源大致相同,但从噪声场来看,前者属于远场噪声而后者属于近场噪声,性质很不一致。自噪声以水动力噪声为主,并与航速关系密切,如图 0-3 所示。



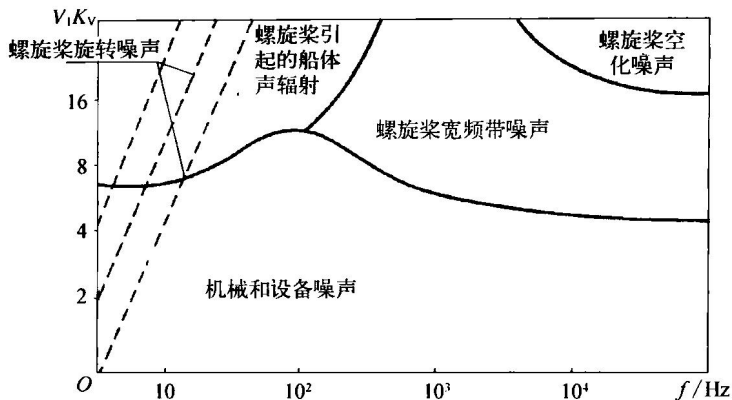


图 0-2 潜艇各航速下的噪声源分布

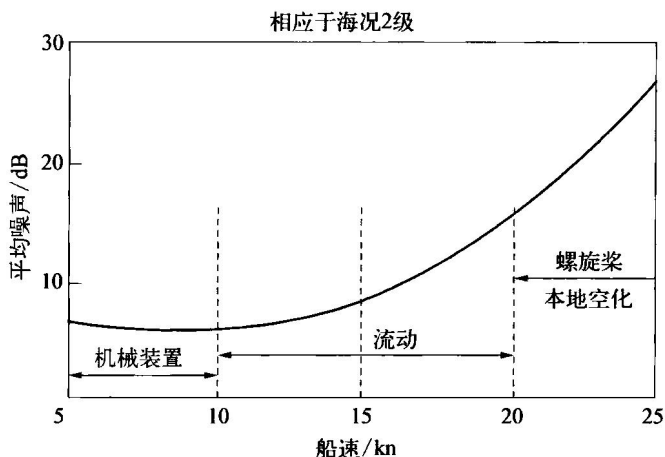


图 0-3 舰艇自噪声与航速的关系

2) 低辐射噪声可极大降低敌方被动声呐的探测距离

图 0-4 给出本艇辐射噪声降低导致敌方被动声呐作用距离下降的计算结果。频率取 1 kHz 和 5 kHz 两种, 纵坐标为无量纲距离 $\beta = r_1/r_0$ 。如果辐射噪声下降 $\Delta L = 10$ dB, β 变为 0.3~0.5, 也就是敌方被动声呐作用距离下降为原来的 30%~50%; 如果辐射噪声下降 $\Delta L = 20$ dB, β 变为 0.1~0.2, 也就是敌方被动声呐作用距离下降为原来的 10%~20%。一旦辐射噪声的总声级降低到 100 dB 以下时, 一般的舰(艇)载声呐已很难探测了。

由于降低潜艇的辐射噪声可极大降低敌方被动声呐的探测距离, 世界各国海军国家都不遗余力地开展潜艇振动和噪声控制工作。尽管高度保密, 但美国 T. Stafanik 在分析了大量公开出版的技术图书和美国国会答辩资料

(公开部分)后,从字里行间细致地搜集出有关技术数据,于1987年绘制出反映美苏两国潜艇辐射噪声宽带总声源级随年代而降低的示意图,见图0-5。

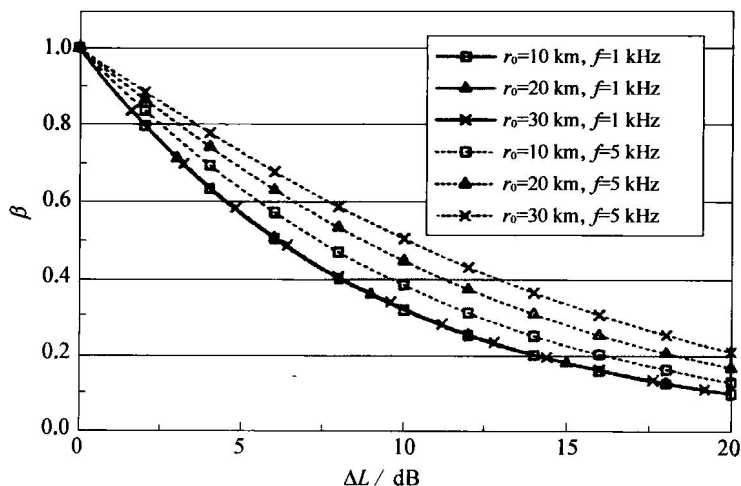


图0-4 本艇辐射噪声降低导致敌方被动声呐作用距离的下降

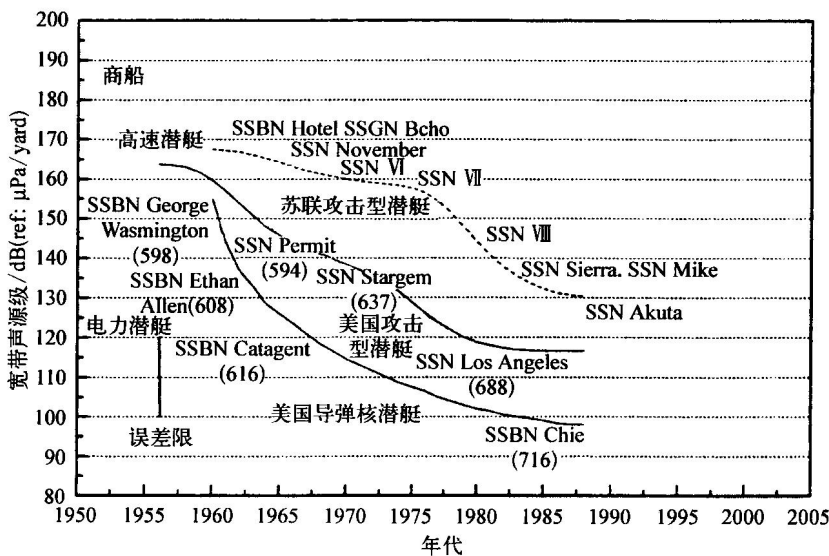


图0-5 美苏潜艇辐射噪声宽带总声源级随年代下降的示意图

由图0-5可以得出如下的结论:

(1) 从20世纪二次大战末到60年代初美国潜艇的辐射噪声已经下降了约10 dB,这一成就主要归功于低噪声螺旋桨的设计。在潜艇巡航速度时螺旋桨的空

化和唱音已经基本解决。一个佐证是这期间公开文献中发表了大量关于螺旋桨空化和唱音的论文。

(2) 美国核潜艇在 20 世纪 60 年代初期(1960~1965 年)辐射噪声下降很快,约为 15~20 dB。其原因是在这期间采用了把机械噪声最大的推进系统安装在一个“减振筏座”上。浮筏技术的采用是潜艇降噪的重大进步。

(3) 苏联潜艇在 1960~1975 年的十五年间辐射噪声只下降了 5~10 dB。而从 1975~1985 年的十年间却下降了约 30 dB。美国军方认为这期间苏联已经掌握了浮筏技术,并利用从日本和挪威秘密进口的大型数控铣床加工出低噪声螺旋桨(东芝事件)。

(4) 总体上看,美国潜艇的辐射噪声平均每年下降 1.5 dB。如攻击型洛杉矶级核潜艇的辐射噪声从 1960 年的 160 dB 下降到 1985 年的 118 dB;到 1998 年海狼号进一步降低到约 100 dB,低于海洋环境噪声(三级海况约 115 dB)。苏联从 1960 年的 170 dB 下降到 1990 年的 130 dB,平均每年下降的分贝数略低于美国。

以上虽然只比较了美国和苏联的降噪情况,但是这个数据有一定的普遍性。20 世纪末各国现役潜艇的辐射噪声大都在 130 dB 上下,个别先进的潜艇已经降低到 100 dB 左右。

3) 降低本艇声呐基阵平台自噪声可提高本艇声呐作用距离

潜艇自噪声来自海洋环境噪声和潜艇本身引起的噪声,也是艇载被动声呐的最大干扰源。由于海洋环境噪声不可避免,要降低被动声呐的干扰必须降低自噪声。图 0-6 给出自噪声下降导致探测距离的增加,图中纵坐标为无

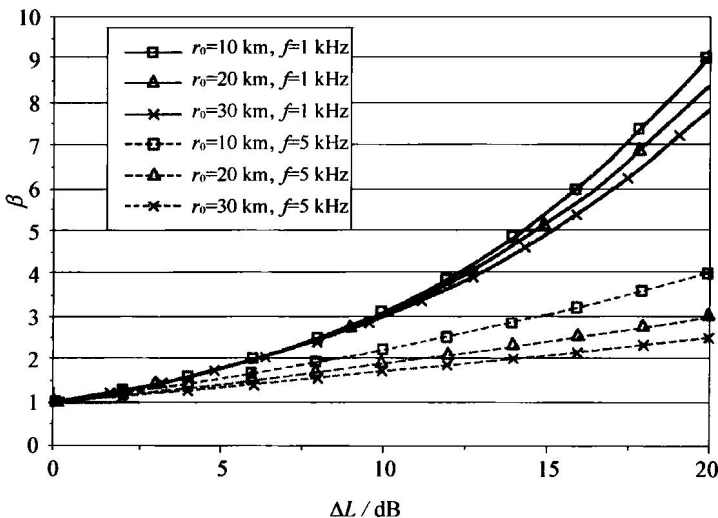


图 0-6 自噪声下降导致声呐探测距离增加

量纲距离 $\beta = r_1/r_0$ 。由图可以看出,若取 1 kHz 时,自噪声下降 10 dB,探测距离将增加到原来的 3 倍;若取 5 kHz 时,自噪声下降 10 dB,探测距离将增加到原来的 2 倍左右。

因此,潜艇声呐性能的提高,除了提高声呐设备本身的性能(如增加发射功率、降低工作频率、增大基阵、采用提高信噪比的抗干扰的信号处理技术和目标自动识别技术等,使现代声呐向数字化、自动化、高性能发展)外,使声呐基阵工作在一个低噪声的环境中至关重要。

0.2 声隐身——降低潜艇的目标强度

从潜艇隐身角度而言,希望本艇的声反射特性或目标强度越低越好,可使得敌方的主动声呐难以探测到。

主动声呐是舰艇必备的探测设备。主动声呐的工作原理与雷达类似,它可以发射出指向性很强的声波并接收回波,因此不仅定位准确,而且还可以探测航速很低甚至“装死”不动的静止目标,以弥补被动声呐的不足。

在主动声呐方程中目标的反射能力用目标强度(TS)来描述,计算目标强度的最常用方法是雷达中的物理光学(物理声学)方法。利用该法可导出各种简单几何形状刚性反射体的目标强度(见 Urick 著《水声原理》)。对于凸光滑刚性表面,目标强度的一般公式是

$$TS \equiv 10 \lg \left(\frac{R_1 R_2}{4} \right)$$

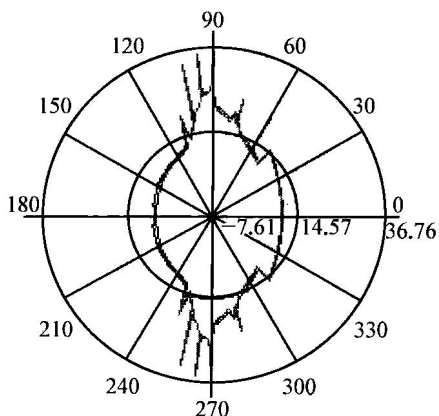


图 0-7 用亮点模型预报的某级潜艇的目标强度

式中 R_1 和 R_2 是亮点(镜反射点)处的两个主曲率半径。以潜艇的艇体为例,亮点的位置随声波的入射角度而变化,所以两个主曲率半径的值也随入射角而变化,结果造成目标强度随入射角而变化(参见图 0-7)。

当潜艇外敷设吸声覆盖层后,目标强度的近似计算可以应用修正物理光学方法。假设敷瓦后目标表面的形状不变,表面的局部平面波反射系数是 $V(\theta)$, 得到

$$TS \equiv 10\lg\left[\frac{R_1 R_2}{4} V^2(0^\circ)\right] = 10\lg\left[\frac{R_1 R_2}{4}\right] + 20\lg[V(0^\circ)]$$

因此敷瓦后目标强度降低(假设敷瓦前为光滑刚性表面)

$$\Delta(TS) \equiv -20\lg[V(0^\circ)]$$

因此可以看出,潜艇目标强度的降低主要取决于潜艇表面的反射系数。

在其他条件都不变的情况下,本艇目标强度 TS 的下降直接导致敌方主动声呐作用距离减小。图 0-8(a)和图 0-8(b)给出本艇目标强度降低导致敌方主动声呐作用距离下降的计算结果。

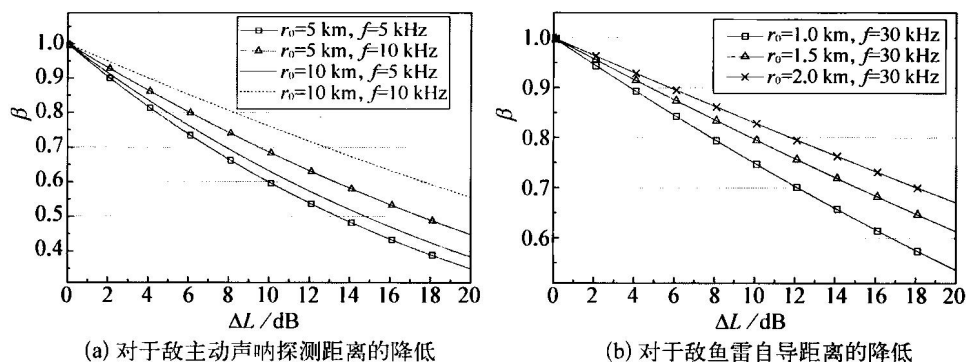


图 0-8 本艇目标强度降低导致敌方主动声呐作用距离下降

图 0-8(a)中敌主动声呐工作频率设为 5 kHz 和 10 kHz。假如原来的探测距离是 5 km 和 10 km,当目标强度下降 10 dB 后敌方主动声呐的作用距离下降为原来的 60%~70%,即缩短约 1/3。图 0-8(b)给出目标强度大小与鱼雷自导作用距离的关系。鱼雷自导工作频率为 30 kHz。设原来的自导距离是 1 km,1.5 km 和 2 km,目标强度下降 10 dB 后敌鱼雷的自导作用距离下降为原来的 80%左右。若目标强度下降 20 dB,敌鱼雷的自导作用距离下降为原来的 54%~67%,即缩短约 1/2。通常吸声覆盖层的高频吸声性能较好,在 30 kHz 目标强度降低 15~20 dB 是可能的。

对主动声呐来说,潜艇的声隐身技术就是降低潜艇目标特征信号强度的技术,也就是降低潜艇在主动声呐信号作用下所产生的回波强度。

潜艇产生回波的主要原因有表面反射波、结构回波和与弹性材料有关的回波。表面反射波与目标的大小和形状有关,是回波的主要贡献者,特别在高频段,潜艇表面的吸声性能对入射波的反射起主要作用。因此,除了对潜艇几何形状进行优

化设计,在外表面上敷设吸声覆盖层便成为降低潜艇目标强度的主要措施。

0.3 声学覆盖层技术

目前潜艇上使用的吸声覆盖层是一种采用高分子黏弹性材料做成的声学结构,它敷设在潜艇外壳外表面,是潜艇最外层的声学屏障。研究证明,吸声覆盖层还具有良好的隔声和抑振性能;故本书采用了“声学覆盖层”的名称,一则表明它具有吸声、隔声、抑振等综合性能,二则表明这是一种系列化的声学结构,它并不限于敷设在潜艇外壳外表面,也可敷设在耐压壳体或声呐舱内。

1) 起源

声学覆盖层的起源可以追溯到第二次世界大战末期,当时德国海军节节败退,为了挽回败局,减少 U 型潜艇的损失数量,德国海军开始在部分潜艇的外壳上加

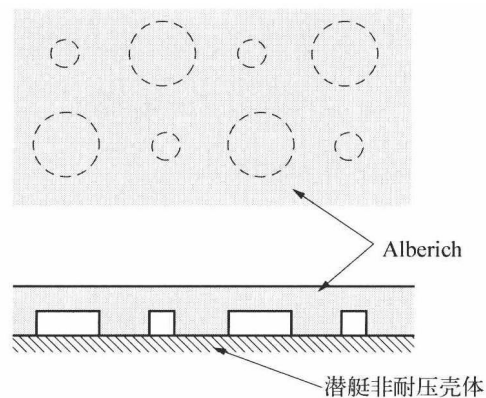


图 0-9 “Alberich”吸声覆盖层

装一层名为“Alberich (阿尔贝里奇)”的合成橡胶防声材料,厚约 4 mm,内部有直径 2~5 mm 的圆柱形空腔。理论研究表明,Alberich 中孔的作用在于把压缩形变转变成剪切形变,剪切形变主要发生在孔的周围,因而它的吸声频率与腔体的谐振频率有关。这种结构属于谐振式吸声结构,其谐振吸声频带约在 9 k~18 kHz。这是最早的谐振型声学覆盖层(图 0-9)。

第二次世界大战结束后,苏联和英国均获得了部分“Alberich”技术,在此基础上,苏联和英美开始分别发展各自的声学覆盖层技术。经过几十年的发展,最终形成风格各异,同时又有十分优良的吸声、抑振效果的声学覆盖层系统技术。随着声学覆盖层作用不断被实践所证实,现已为世界各海军强国广泛采用,成为现代先进潜艇的一项重要标志之一。

2) 声学覆盖层的作用

(1) 吸声作用。

声学覆盖层是带有声学结构的黏弹性材料(橡胶)吸声层,它粘贴在潜艇表面,

可以最大限度地吸收入射到水-声学覆盖层界面上的声波能量,使反射最小。声学覆盖层降低回声、降低目标强度的基本原理如图 0-10 所示。

为简化起见,假设声学覆盖层的背衬——艇壳是绝对硬壁。入射声波 p_i 首先从水与声学覆盖层的界面上反射,产生一次反射波 p_1 ;同时有部分能量透入声学覆盖层内。由于声学覆盖层的损耗或吸收,波在声学覆盖层内传播时逐渐衰减,到达声学覆盖

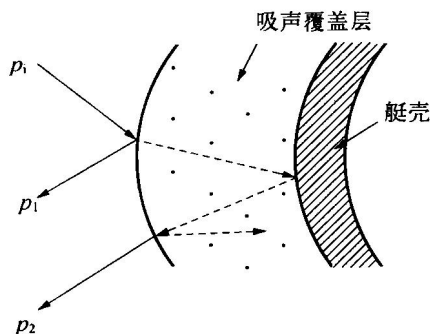


图 0-10 吸声覆盖层降低目标强度的机理

层与艇壳的界面后又发生反射。反射波再经历一次声学覆盖层内的传播和衰减,在声学覆盖层与水的界面处又发生反射与透射,一部分声能透射到水中,还有一部分声能则反射回覆盖层内;这是二次反射波 p_2 。依次类推,有三次、四次、……反射波。总的反射波是所有这些波的叠加:

$$p_r = \sum_{j=1}^{\infty} p_j$$

因此粘贴声学覆盖层后目标的反射系数为

$$R = p_r/p_i$$

敷设了声学覆盖层后的回声降低表示粘贴声学覆盖层后与裸露目标(假设为全反射)相比回声降低的分贝数,可表示为

$$ER = 20\lg|R| = 20\lg|p_r/p_i| \quad (\text{dB})$$

假设敷瓦前潜艇表面为凸光滑刚性表面,则敷瓦后潜艇的回声降低与目标强度下降均取决于潜艇表面敷设声学覆盖层后的表现反射系数,而且在数值上几乎相等。

要减小声学覆盖层的反射有两个基本途径:一是让水与声学覆盖层的界面阻抗匹配,使得一次反射波最小;二是让声学覆盖层的吸收很大,使得进入覆盖层的声能都损失掉,导致二、三、……次反射波几乎为零。对均匀吸声材料来讲,通常这两方面不可能同时满足,因此要进行声学结构的设计并进行优化。

(2) 隔声与抑振。

在声学覆盖层使用之初,人们认为覆盖层的主要功能是吸收敌方主动声呐发

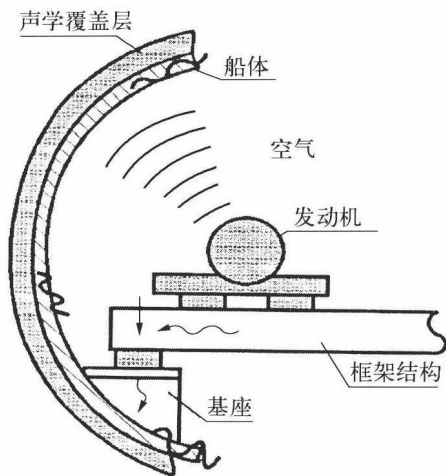


图 0-11 声学覆盖层的隔声与抑振作用

的减弱和缓解。

声学覆盖层是用高分子黏弹性材料做成的，材料本身的阻尼就比较大，又厚达数厘米，敷设到几毫米厚的非耐压壳体上时，相当于自由阻尼层结构，会对艇壳中传播的振动弯曲波起到一定的抑制作用，同时增加了对声辐射起决定作用的船壳弯曲振动阻尼，降低了壳体的声辐射强度。

声学覆盖层还具有良好的隔声性能，能有效地隔断本艇机械噪声向海域传布，从而可大大降低本艇辐射噪声，达到潜艇安静化的目的。若在非耐压壳体外侧设置一层阻抗失配层就可以起到隔声作用。常用的非谐振型声学覆盖层中为了提高低频端的吸声性能，同时为了降低覆盖层的表观密度使之接近于 1，常采用空腔结构，在覆盖层与钢板之间形成一层阻抗不匹配层，在隔绝潜艇舱室噪声中起主要作用。

但是声学覆盖层的低频隔声与抑振效果有限，因此需要采用一些其他方法来解决低频的隔声与抑振，如特殊设计的隔声瓦、阻尼瓦，在很低频段可采用低频谐振吸声（吸振）器等。

由于一种结构难以同时具备良好的吸声和隔声性能，而且低频吸、隔声性能难以满足使用要求。为了最大限度地发挥声学覆盖层的作用，最大限度地降低潜艇的声信号特征，应针对特定的频段研制出具有不同“专长”的声学覆盖层。

3) 声学覆盖层的性能

声学覆盖层敷贴在潜艇非耐压壳体外侧，直接与海水、日光、空气接触，经受着严酷的环境条件，又担负着苛刻的潜艇隐蔽性使命。对它的技术要求可归纳为四

出的探测波。随着覆盖层技术在潜艇上的广泛应用，逐渐发现覆盖层除具有吸声功能外，同时还能抑制艇体振动、隔离内部噪声向艇外辐射(图 0-11)、降低本艇自噪声和改变潜艇表面的声辐射特性的作用，这对于安静型潜艇来说是十分必要的。

目前很多潜艇都将艇上的动力装置及其机械设备安装 在筏形基座上，而且该基座与潜艇体保持柔性连接。采取这些措施后，仍有相当大的振动波要传到潜艇的内壁，而紧贴艇体的声学覆盖层自然起到了吸收振动的作用，使振动得到最大限度的

个方面：即声学性能要求、抑振性能要求、机械物理性能要求和工艺性能要求。

(1) 声学性能。

声学覆盖层是一种声学元件，对它的声学性能要求自然是高标准的。同时声学覆盖层又应该满足潜艇在深海活动以及在不同海域不同季节执行任务的要求，因此在较宽的温度范围及较高的静水压力下均应保持良好的吸声性能。也就是说，声学覆盖层必须具有一定使用温度范围的低频宽带耐高静水压的良好的声学性能。

① 吸声性能。

对吸声覆盖层吸声性能的要求取决于声呐技术的发展趋势。

由于信号处理技术的迅速发展，声呐的多通道探测与大容量信息处理能力大大提高，目前向兼有主被动、高低频、分离谱与宽带信号综合处理的现代声呐发展。为了远程探测的需要，主动声呐的工作频率还在不断下降。根据对美国、英国、法国的潜艇和水面舰艇的主动声呐、吊放声呐主动工作频率的分析，大致在 1~11 kHz 范围内，其中 3~7 kHz 频率范围的主动声呐装艇数量最多；主动拖曳阵声呐的频率已经低到 1 kHz 左右，而多数新发展的主动声呐系统都工作在 1 kHz 以下；被动综合声呐的工作频率也开始向几百赫兹的低频延伸，远程探测定位声呐的工作频率甚至低达几十赫兹。同时，潜艇还需防备声制导鱼雷的攻击，而鱼雷的声制导频率一般在 30 kHz 左右。

所以，要求吸声覆盖层在 1 k~30 kHz 频率范围内均有良好的吸声效果。根据潜艇目标强度下降（或回声降低）在 3 dB 以上可认为有明显的效果，则潜艇表面的表观反射系数应小于 0.45（表观吸声系数为 0.7 以上）；如果希望潜艇目标强度下降 10 dB，则表观反射系数应小于 0.316（即表观吸声系数大于 0.9）。

② 隔声性能。

声学覆盖层是潜艇内部空气噪声和机械设备噪声通过艇壳向外传播的最后一层屏障，它的隔声性能越好，对降低潜艇的辐射噪声越有利。

潜艇的机械和设备噪声是带有低频线谱的宽带噪声（参见图 0-2）。特别是推进系统（主机-柴油机、电动机和汽轮机以及轴系、减速齿轮等）是强烈的周期性振动源，所产生噪声中的低频线谱及其谐波将透露出潜艇航行工况的信息，并且在海域中传播得很远。所以，要求声学覆盖层的隔声性能也是低频宽带的。

设计良好的声学覆盖层的隔声性能在中高频段的隔声量可达 20~30 dB，但低频隔声非常困难。因此，降低潜艇的低频辐射噪声必须采用综合处理手段。除了最外层用覆盖层隔声外，艇内要控制好的机械和设备的噪声，采用阻尼方法切断结